

Aliran Daya Aktif dan Efisiensi *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) secara *Stand Alone System*

Fatmawati Azis^{1*}, Akbar Naro Parawangsa², Sulistianingsih NF³

^{1,3}Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa, Jalan Kapasa Raya No.23 Kapasa Kecamatan Tamalanrea, Daya, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245

²Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Jalan Kapasa Raya No.23 Kapasa Kecamatan Tamalanrea, Daya, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245

*Corresponding Author

E-mail Address: fatmawati.azis@politeknikbosowa.ac.id

ABSTRAK

Energi terbarukan telah banyak diinvestigasi pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik. Energi angin, gas, solar ini mengambil peran vital sebagai alternatif mereduksi penggunaan energi fosil dan emisi karbon. Energi angin adalah salah satu energi terbarukan yang banyak diinvestigasi dalam satu dekade ini, juga telah banyak mengalami kemajuan dalam proses konversinya menjadi energi listrik. Pembangkit listrik energi angin khususnya di Sulawesi Selatan telah terpasang dengan daya listrik 72 MW di Tolo Kabupaten Jeneponto dan 75 MW di Sidrap. Pemasangan PLTB tersebut merupakan bentuk pemanfaatan peta potensi energi angin di Indonesia yaitu pada Kabupaten Jeneponto dan Sidrap masing-masing memiliki kecepatan angin rata-rata 8.11 m/s dan 7.04 m/s dengan potensi energi angin masing-masing 132.5 MW dan 100 MW. Selain dua daerah tersebut pada peta energi angin juga memperlihatkan potensi energi angin yang baik di Sulawesi Selatan yaitu daerah pesisir pantai Punaga Takalar. Penelitian ini fokus terhadap karakteristik aliran daya pada *vertikal axis wind turbine* (VAWT) baik ideal maupun realtime secara stand alone system (SAS) sesuai kondisi angin. Tujuannya untuk menyajikan daya aktif angin dan generator sebagai energi alternatif. Aliran daya aktif angin tertinggi berada pada 2.980,9 Watt pada kecepatan angin 23 m/s sedangkan terendah berada pada 245 watt untuk kecepatan angin 10 m/s. Tegangan tertinggi 14,22 V dengan arus tertinggi 5,8 A, tegangan terendah berada pada tegangan 9,21 V dengan arus terendah 5,4 A. Data putaran generator dan turbin berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin. Kecepatan 10 m/s putaran generator di 220, 8 rpm dan 129,5 rpm, yang tertinggi pada kecepatan 23 m/s dengan putaran generator 548,2 rpm dan 499,4 rpm. Efisiensi η tertinggi berada pada 0.165% untuk kecepatan angin 10 m/s seterusnya turun hingga kecepatan 23 m/s.

Kata Kunci : VAWT, daya aktif, efisiensi

ABSTRACT

Renewable energy has been extensively investigated for its use as a source of electrical energy. Wind, gas, solar energy play a vital role as an alternative to reduce the use of fossil energy and carbon emissions. Wind energy is one of the most investigated renewable energies, namely wind energy, which in the last decade has experienced a lot of progress in the process of converting it into electrical energy. Wind energy power plants, especially in South Sulawesi, have been installed with an electric power of 72 MW in Tolo, Jeneponto Regency and 75 MW in Sidrap. The installation of the PLTB is a form of utilizing a map of wind energy potential in Indonesia, namely in Jeneponto and Sidrap Regencies, each of which has an average wind speed of 8.11 m/s and 7.04 m/s with wind energy potential of 132.5 MW and 100 MW respectively. In addition to these two areas, the wind energy map also shows good wind energy potential in South Sulawesi, namely the Punaga Takalar Coastal area. This paper focuses on the characteristics of the active power flow vertical axis wind turbine (VAWT) both ideal and realtime in a stand alone system (SAS) according to wind conditions. The aim is to present active power of wind and generators as alternative energy. The highest active wind power flow is at 2,980.9 Watt at a wind speed of 23 m/s while the lowest is at 245 Watts for a wind speed of 10 m/s. The highest voltage is 14.22 V with the highest current of 5.8 A, the lowest voltage is at 9.21 V with the lowest current of 5.4 A. The generator and turbine rotation data are directly proportional to the increase in wind speed. The speed of 10 m/s generator rotates at 220.8 rpm and 129.5 rpm, the highest

is at wind speed of 23 m/s with a generator rotation of 548.2 rpm and 499.4 rpm. The highest efficiency η is at 0.165% for a wind speed of 10 m/s and then decreases to a speed of 23 m/s.

Keywords: VAWT, active power, efficiency

PENDAHULUAN

Energi terbarukan (Ammar, 2020; F. Azis et al., 2017; Karytsas, 2019; Khordehghah, 2019; Mohamed, 2019; Paya-Marin, 2020; Polikarpova, 2019; Zhou, 2020) telah banyak diinvestigasi pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik. Energi angin (F. Azis et al., 2017; Syamsuarnis & Candra, 2020), biogas (Braumakis, 2017; Romadhona et al., 2020; Vilino et al., 2022), solar (Aguilar, 2019; Errouha, 2019; Fitriyanto et al., 2022; Koşan, 2020; Martin-Escudero, 2019; Zhang, 2019) ini mengambil peran vital sebagai energi alternatif mereduksi penggunaan energi fosil dan emisi karbon. Energi angin sebagai energi alternatif tersebut juga dapat meminimalkan biaya operasional (F. Azis et al., 2017).

Pembangkit listrik energi angin khususnya di Sulawesi Selatan telah terpasang dengan daya listrik 72 MW di Tolo Kabupaten Jeneponto dan 75 MW di Sidrap (Muhajir & Sinaga, 2021). Pemasangan PLTB tersebut merupakan bentuk pemanfaatan peta potensi energi angin di Indonesia yaitu pada Kabupaten Jeneponto dan Sidrap masing-masing memiliki kecepatan angin rata-rata 8.11 m/s dan 7.04 m/s dengan potensi energi angin masing-masing 132.5 MW dan 100 MW. Selain dua daerah tersebut pada peta energi angin juga memperlihatkan potensi energi angin yang baik di Sulawesi Selatan yaitu daerah Pesisir Pantai Punaga Takalar (F. Azis et al., 2017) dimana kecepatan angin rata-rata sebesar 6 m/s.

Prinsip kerja turbin angin (Calise, 2020) secara sederhana adalah mengubah energi angin menjadi energi mekanik lalu energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik oleh generator, dimana listrik yang dihasilkan dapat disimpan pada baterai maupun disalurkan langsung ke beban (Trifiananto et al., 2022). Penelitian tentang turbin angin ini telah banyak dikaji baik jenis *vertikal axis wind turbine* (VAWT)

(Fatmawati Azis et al., 2021; Gustiantono et al., 2017; Nur Fitri & Azis, 2021; Nurwicaksana et al., 2020; Trifiananto et al., 2022) ataupun *horizontal axis wind turbine* (HAWT) (Fitri et al., 2022; Ridwan & Latief, 2019).

VAWT memiliki keunggulan dibandingkan HAWT dalam hal biaya produksi yang lebih murah, instalasi dan perawatan lebih mudah dan maksimal mengkonversi energi angin dari segala arah (Nurwicaksana et al., 2020).

Penelitian (Trifiananto et al., 2022) memaparkan tentang performa turbin angin VAWT dengan *hybrid* turbin jenis Savonius darries NACA 4712, efisiensi terbaiknya berada pada poin 0.037 pada kecepatan angin 5 m/s. Artikel (Fatmawati Azis et al., 2021) menyajikan data yang hanya fokus pada parameter arus dan lumen, sementara peneliti pada (Nur Fitri & Azis, 2021) mengkaji PLTB skala laboratorium dengan menggunakan kipas angin sebagai sumber energi angin dengan kecepatan rendah, maksimal 3 m/s. Paper (Gustiantono et al., 2017) menjelaskan tentang perancangan dan hasil turbin VAWT dengan tipe H-rotor dengan diameter 2,7 m dan tinggi 2,7 meter. Penelitian (Nurwicaksana et al., 2020) mengkaji VAWT dengan kontrol *angle of attack* dalam memaksimalkan tangkapan energi oleh turbin angin sehingga meningkatkan efisiensi VAWT dengan PID.

Penelitian VAWT juga dibahas (Huda & Arief, 2014), dimana fokus terhadap karakteristik berdasarkan jumlah blade terhadap putaran rotor secara simulasi dengan menggunakan *software*.

Penelitian (Maulana & Sidiq, 2018) merancang dan membuat VAWT jenis *Straight Blade*. Jenis *Straight Blade* pada umumnya digunakan pada jenis turbin air. Hasil penelitian didapatkan sebuah rancangan VAWT jenis *Straight Blade* dengan jumlah blade sebanyak 8 buah dengan menggunakan material Plat aluminium dengan dimensi diameter rotor

dan tinggi masing-masing VAWT 330 mm dan 500 mm. VAWT juga telah diteliti (Darmawan & Winjaya, 2019), namun digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk pelintasan kereta api jika terjadi pemadaman listrik.

Penelitian ini fokus terhadap kajian karakteristik aliran daya energi angin baik ideal maupun realtime secara *stand alone system* (SAS) sesuai kondisi angin tempat pengumpulan data di daerah pesisir pantai Punaga, Takalar. Tujuannya daya aktif yang terukur dapat dimanfaatkan oleh nelayan setempat saat malam hari sebagai energi alternatif.

METODE PENELITIAN

Metode eksperimental langsung digunakan pada penelitian ini dengan fokus meneliti aliran daya generator dan karakteristik parameter-parameter terkait energi angin. Pembangkit listrik tenaga angin VAWT ini dirancang mengikuti potensi energi angin yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan potensi energi angin rata-rata 6.95 m/s. Pengambilan data penelitian ini berlangsung pada malam hari dipesisir pantai dengan tujuan daya aktif yang terukur dapat dimanfaatkan oleh nelayan setempat saat malam hari sebagai energi alternatif penerangan. VAWT dibuat dengan diameter turbin 40 cm, Tinggi turbin 80 cm dan tinggi alat keseluruhan 130 cm.



Gambar 1 Peta Potensi Energi angin Takalar, Jeneponto dan Sidrap.

Analisa matematis yang digunakan untuk menghitung daya angin P_w (Permadi, 2018) dapat dilihat pada persamaan (1). Persamaan matematis daya elektrik generator P_g , dan *effisiensi overall* η masing-masing dijelaskan pada persamaan (2) dan persamaan (3) yang diturunkan menjadi persamaan (4) (Permadi, 2018).

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

(1)

$$P_g = V x I$$

(2)

$$\eta = \frac{P_t}{P_w} \times \frac{P_g}{P_t} \times 100\%$$

(3)

$$\eta = \frac{P_g}{P_w} \times 100\%$$

(4)

keterangan:

ρ adalah permitivitas angin

A adalah luas penampang turbin (m^2)

v adalah kecepatan angin (m/s)

V adalah tegangan (volt)

I adalah arus listrik (Ampere (A))

Komponen yang terdapat dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram blok Gambar 2. Komponen yang terhubung ke VAWT terdiri dari generator dc, *buck boost converter* (BBC) yang berfungsi menstabilkan tegangan. Tambahan komponen lainnya adalah *solar charger controller* (SCC) yang berfungsi sebagai regulator tegangan dan arus yang juga berfungsi memproteksi pengisian aki dari pengisian berlebihan, sensor anemometer, sensor tegangan, relai dan *liquid crystal display* (LCD) yang berfungsi menampilkan hasil pengukuran secara digital.

Tip speed ratio λ merupakan hasil perkalian kecepatan putaran dari turbin angin dan radius turbin angin r terhadap kecepatan angin v yang dinyatakan dalam persamaan

(5). Persamaan (5) selanjutnya diturunkan pada persamaan (7) berdasarkan persamaan kecepatan sudut ω sesuai dengan persamaan (6) (Nurwicaksana et al., 2020).

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

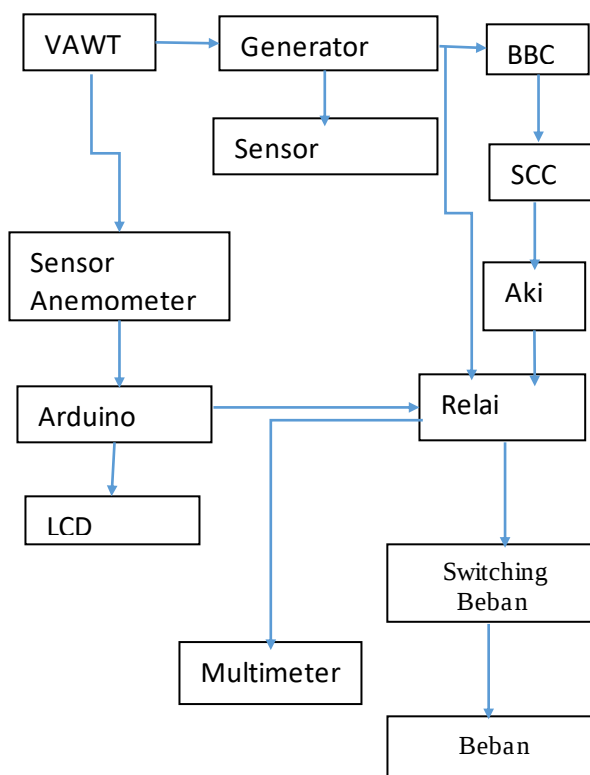
(5)

$$\omega = \frac{2\pi RPM}{60}$$

(6)

$$\lambda = \frac{2\pi RPM \cdot r}{60v}$$

(7)



Gambar 2 Diagram blok peralatan yang terhubung di VAWT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini mulai dari mengukur kecepatan angin dan menghitung daya aktif energi angin dapat dilihat pada Tabel 1, dan dalam bentuk grafis sesuai Gambar 3. Aliran daya aktif angin tertinggi berada pada 2.980,9 Watt pada kecepatan angin 23 m/s sedangkan terendah berada pada 245 watt untuk kecepatan angin 10 m/s.

Tabel 1. Daya aktif angin P_w sesuai potensi kecepatan angin terukur.

Waktu (Wita)	ρ	D (m)	v (m/s)	P_w (Watt)
20:00	1,225	0.4	10	245.00
20:30	1,225	0.4	14	672.28
21:00	1,225	0.4	16	1003.52
21:30	1,225	0.4	15	826.875
22:00	1,225	0.4	14	672.28
22:30	1,225	0.4	17	1203.68
23:00	1,225	0.4	18	1428.84
23:30	1,225	0.4	20	1960.00
00:00	1,225	0.4	19	1680.45
00:30	1,225	0.4	23	2980.91
01:00	1,225	0.4	23	2980.91

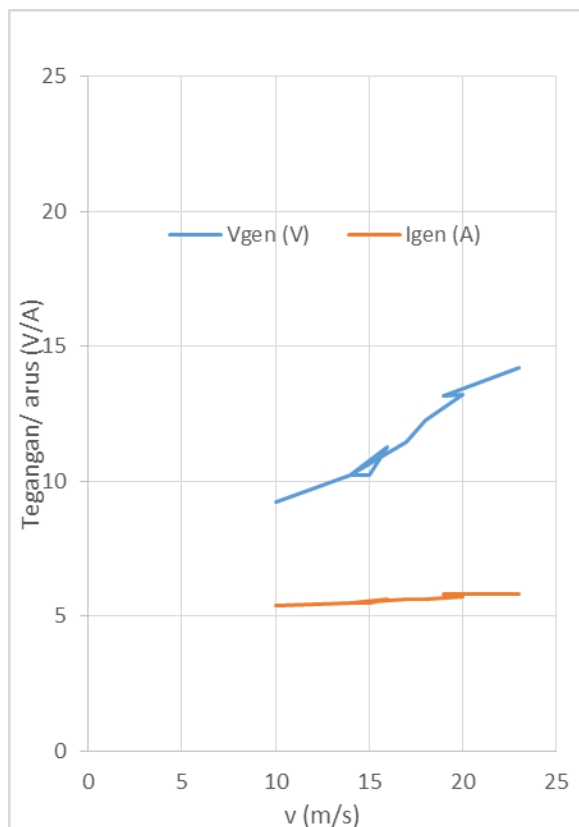
Permitivitas angin ρ adalah 1,225 dan diameter turbin 0.4 meter. Waktu pengukuran dimulai pukul 20:00 hingga 01:00. Kecepatan angin yang terukur dari 10 m/s hingga 23 m/s.



Gambar 3 Aliran daya aktif energi angin

Tabel 2. Perbandingan kec. Angin , tegangan dan arus

Waktu (Wita)	Kec. Angin (m/s)	Tegangan Output (V)	Arus (A)
20:00	10	9,21	5,4
20:30	14	10,24	5,5
21:00	16	11,27	5,6
21:30	15	10,24	5,5
22:00	14	10,22	5,5
22:30	17	11,43	5,6
23:00	18	12,24	5,6
23:30	20	13,23	5,7
00:00	19	13,16	5,8
00:30	23	14,21	5,8
01:00	23	14,22	5,8



Gambar 4 Perbandingan Tegangan dan Arus output generator.

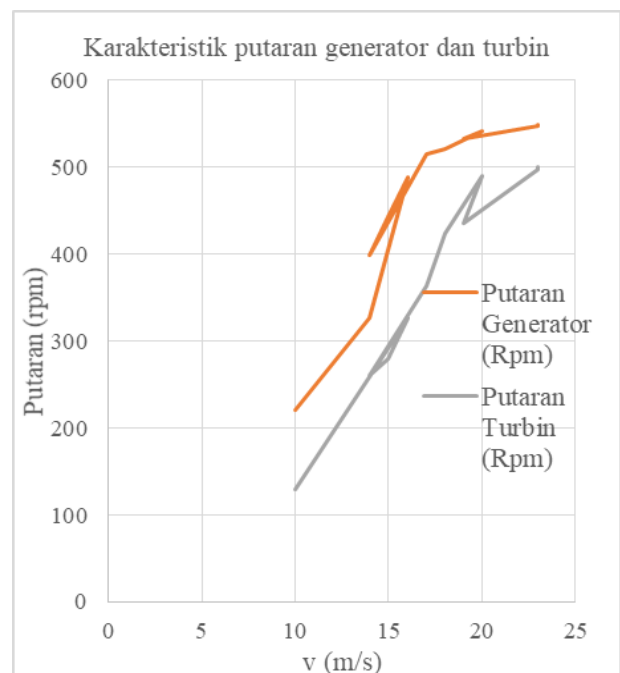
Perbandingan kecepatan angin, tegangan dan arus dapat dilihat pada Tabel 2. dan secara grafis dapat dilihat pada Gambar 4.

Tegangan dan arus output dapat dilihat pada Tabel 2. dan Gambar 4. Tegangan tertinggi 14,22 V dengan arus tertinggi 5,8 A, tegangan terendah berada pada tegangan 9,21 V dengan arus terendah 5,4 A. Karakteristik Tegangan dan arus output

yang terlihat pada Gambar 4 memperlihatkan tegangan output V_{gen} berbanding lurus dengan kecepatan angin akan meningkat ketika kecepatan angin meningkat dan sebaliknya. Arus output I_{gen} meningkat tidak signifikan.

Tabel 3. Data putaran generator dan turbin.

Waktu (wita)	Kec. Angin (m/s)	Putaran Generator (Rpm)	Putaran Turbin (Rpm)
20	10	220,8	129,5
20.3	14	326,9	258,5
21	16	487,6	326,7
21.3	15	442,8	279,6
22	14	398,7	260,7
22.3	17	514,9	362,8
23	18	520,6	423,1
23.3	20	541,1	489,7
0	19	531,9	434,8
0.3	23	547,7	497,6
1	23	548,2	499,4



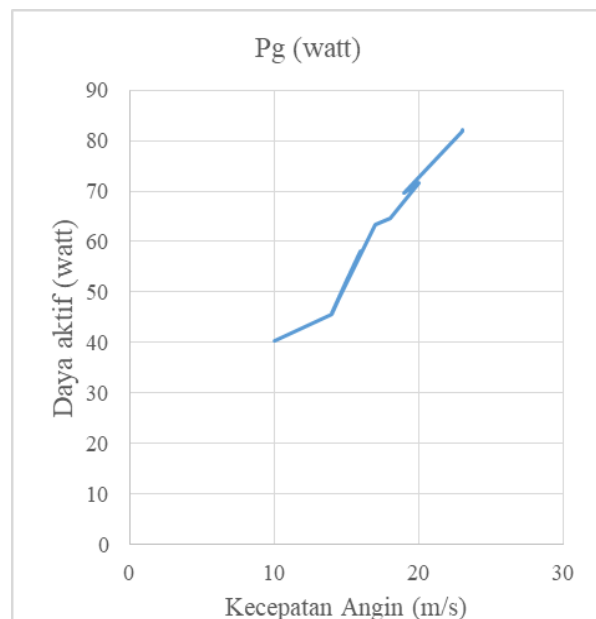
Gambar 5 Karakteristik putaran turbin dan generator.

Data putaran generator dan turbin terdapat pada Tabel 3. dan karakteristik putaran turbin dan generator digambarkan secara grafis pada Gambar 5. Data putaran generator dan turbin berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin.

Kecepatan 10 m/s putaran generator di 220, 8 rpm dan 129,5 rpm, yang tertinggi pada kecepatan 23 m/s dengan putaran generator 548,2 rpm dan 499,4 rpm.

Daya aktif generator dan efisiensi dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Daya aktif generator P_g pada Gambar 6, trendnya bergerak linear atau berbanding lurus dengan kecepatan angin. Daya aktif generator terendah berada pada nilai 54 W dengan tegangan dan arus output 10.22 V dan 5,4 A. Tegangan dan arus output masing-masing mencapai 12,38 V dan 5,6 A daya aktif generator P_g berada pada 95,2 W. Daya aktif generator P_g tertinggi berada pada 133,4 W dengan tegangan dan arus output 15,21 V dan 5,8 A.

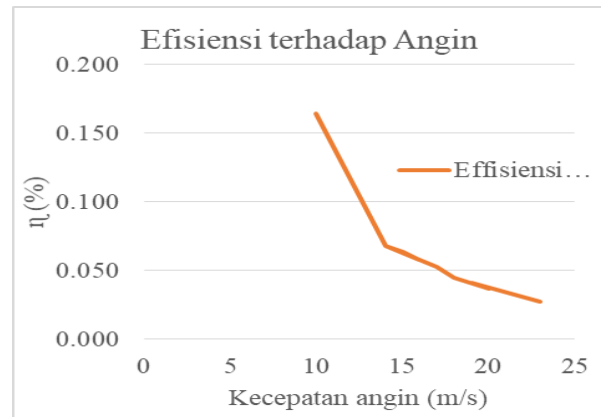
Effisiensi η trendnya bergerak menurun atau berbanding terbalik dengan kecepatan angin. Effisiensi η tertinggi berada pada poin 0.165 untuk kecepatan angin 10 m/s dan selanjutnya menurun saat kecepatan angin 14 m/s 0.68 seterusnya turun hingga kecepatan 23 m/s.



Gambar 9 Karakteristik daya aktif generator.

Hasil *tip speed ratio* λ dapat dilihat pada Tabel 4, dan secara grafis dapat dilihat pada Gambar 8. *Tip speed ratio* λ memiliki *range* nilai 0.135-0.227. Karakteristik *tip speed ratio* λ pada Gambar 8 dimulai pada kecepatan angin 10 m/s yang signifikan naik sampai kecepatan angin 16 m/s, selanjutnya turun beberapa poin disebabkan kecepatan angin yang juga

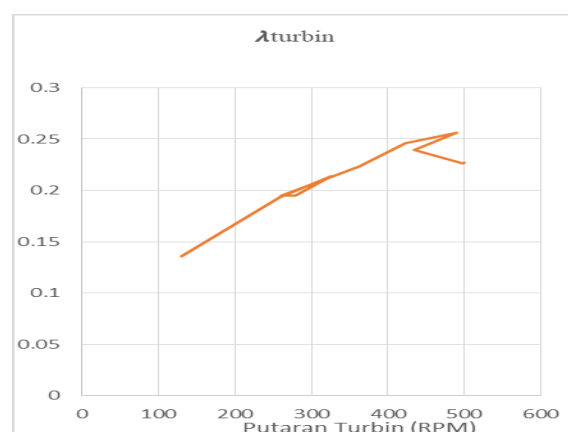
mengalami penurunan kecepatan. Hubungan *Tip speed ratio* dengan kecepatan angin berbanding lurus atau linear.



Gambar 7 Karakteristik efisiensi terhadap kecepatan angin.

Tabel 4. *Tip speed ratio* turbin λ_{Turbin}

λ_{Turbin}	π	Putaran Turbin (rpm)	v (m/s)	r (m)
0.135	3.14	129.5	10	0.2
0.193	3.14	258.5	14	0.2
0.214	3.14	326.7	16	0.2
0.195	3.14	279.6	15	0.2
0.195	3.14	260.7	14	0.2
0.223	3.14	362.8	17	0.2
0.246	3.14	423.1	18	0.2
0.256	3.14	489.7	20	0.2
0.239	3.14	434.8	19	0.2
0.226	3.14	497.6	23	0.2
0.227	3.14	499.4	23	0.2



Gambar 8 Karakteristik *tip speed ratio* λ terhadap Putaran turbin.

PENUTUP

Aliran daya aktif angin tertinggi berada pada 2.980,9 Watt pada kecepatan angin 23 m/s sedangkan terendah berada pada 245 watt untuk kecepatan angin 10 m/s. Tegangan tertinggi 14,22 V dengan arus tertinggi 5,8 A, tegangan terendah berada pada tegangan 9,21 V dengan arus terendah 5,4 A. Data putaran generator dan turbin berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin. Kecepatan 10 m/s putaran generator di 220, 8 rpm dan 129,5 rpm, yang tertinggi pada kecepatan 23 m/s dengan putaran generator 548,2 rpm dan 499,4 rpm.

Tegangan tertinggi 14,22 V dengan arus tertinggi 5,8 A, tegangan terendah berada pada tegangan 9,21 V dengan arus terendah 5,4 A. Karakteristik Tegangan dan arus output yang terlihat pada Gambar 6 memperlihatkan tegangan output V_{gen} berbanding lurus dengan kecepatan angin akan meningkat ketika kecepatan angin meningkat dan sebaliknya. Arus output I_{gen} meningkat tidak signifikan.

Data putaran generator dan turbin berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin. Kecepatan 10 m/s putaran generator di 220, 8 rpm dan 129,5 rpm, yang tertinggi pada kecepatan 23 m/s dengan putaran generator 548,2 rpm dan 499,4 rpm. Efisiensi η trendnya bergerak menurun atau berbanding terbalik dengan kecepatan angin. Efisiensi η tertinggi berada pada poin 0.165 untuk kecepatan angin 10 m/s dan selanjutnya menurun saat kecepatan angin 14 m/s 0.68 seterusnya turun hingga kecepatan 23 m/s.

Daya aktif generator trendnya bergerak linear atau berbanding lurus dengan kecepatan angin. Efisiensi η trendnya bergerak menurun atau berbanding terbalik dengan kecepatan angin. Efisiensi η tertinggi berada pada poin 0.165 untuk kecepatan angina 10 m/s seterusnya turun hingga kecepatan 23 m/s. Nilai *Tip speed ratio* λ memiliki range nilai 0.135-0.227.

REFERENSI

Aguiar, F. (2019). Techno-economic analysis of an air conditioning heat pump powered by photovoltaic panels and the grid. *Solar Energy*, 180, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.005>

Ammar, R. Ben. (2020). Photovoltaic power forecast using empirical models and artificial intelligence approaches for water pumping systems. *Renewable Energy*, 153, 1016–1028. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.065>

Azis, F., Arief, A., & Nappu, M. B. (2017). Fuzzy logic based active power generation dispatching considering intermittent wind power plants output. *ICCREC 2017 - 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy, and Communications, Proceedings, 2017-Janua*. <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2017.8226689>

Azis, Fatmawati, Bosowa Jalan Kapasa Raya No, P., & Makassar, K. (2021). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Sumber Pencahayaan Pada Perahu Nelayan. *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, 1(2).

Braimakis, K. (2017). Technoeconomic Analysis and Comparison of a Solar-Based Biomass ORC-VCC System and a PV Heat Pump for Domestic Trigenation. *Journal of Energy Engineering*, 143(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000397](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000397)

Calise, F. (2020). Dynamic modelling and thermoeconomic analysis of micro wind turbines and building integrated photovoltaic panels. *Renewable Energy*, 160, 633–652. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.075>

Darmawan, A., & Winjaya, F. (2019). RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN AKSIS VERTIKAL SEBAGAI ALTERNATIF CATU DAYA PADA PERLINTASAN SEBIDANG PERKERETAAPIAN Program Studi Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun ABSTRAK Peralatan pengaman pintu perlintasan sebid. III(November).

Errouha, M. (2019). Improvement control of photovoltaic based water pumping system without energy storage. *Solar Energy*, 190, 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.024>

- Fitri, S. N., Azis, F., An, H., & Muhammad, N. (2022). *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Generator BLDC Sebagai Sistem Penerangan*. 3(2).
- Fitriyanto, I., Nugroho, G., & Indramayu, P. N. (2022). DESAIN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 1 KW. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan) Polindra*, 8(September), 139–148.
<https://jurnal.polindra.ac.id/index.php/jtt/article/view/440/pdf>
- Gustiantono, A., Dwi Prija Tjahjana, D. D., & Hadi, S. (2017). Wind Turbine Vertical Axis H Rotor Type with 1 KW Capacity at Suwuk Beach, Kebumen. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 16(1).
<https://doi.org/10.20961/mechanika.v16i1.35053>
- Huda, S., & Arief, S. (2014). *Analisa Bentuk Profile dan Jumlah Blade Vertical Axis Wind Turbine terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik*. 3(1), 1–5.
- Karytsas, S. (2019). Factors affecting willingness to adopt and willingness to pay for a residential hybrid system that provides heating/cooling and domestic hot water. *Renewable Energy*, 142, 591–603.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.108>
- Khordehghah, N. (2019). Computational study and experimental validation of a solar photovoltaics and thermal technology. *Renewable Energy*, 143, 1348–1356.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.108>
- Koşan, M. (2020). Performance analyses of sustainable PV/T assisted heat pump drying system. *Solar Energy*, 199, 657–672.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.040>
- Martin-Escudero, K. (2019). Solar energy system for heating and domestic hot water supply by means of a heat pump coupled to a photovoltaic ventilated façade. *Solar Energy*, 183, 453–462.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.058>
- Maulana, Y., & Sidiq, A. (2018). Perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Jenis Straight Blade. *Jurnal JIEOM*, 1(2), 35–38.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31602/jieom.v1i2.2013>
- Mohamed, E. (2019). A comprehensive investigation of using mutual air and water heating in multi-functional DX-SAMHP for moderate cold climate. *Renewable Energy*, 130, 582–600.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.075>
- Muhajir, F. Al, & Sinaga, N. (2021). Tinjauan Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Pembangkit Listrik di Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknika*, 15(10), 55–61.
- Nur Fitri, S., & Azis, F. (2021). Rancang Bangun Turbin Vertikal Axis Pada PLTB. *Journal Of Electrical Engineering (Joule)*, 2(1), 76–80.
- Nurwicaksana, W. A., Setiawan, B., Syamsiana, I. N., & Riskitasari, S. (2020). Kontrol Angle of Attack untuk Optimasi Daya pada Vertical Axis Wind Turbine Tipe Darrieus. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(3), 492.
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i3.492>
- Paya-Marin, M. A. (2020). Large-scale experiment of a novel non-domestic building using BPSC systems for energy saving. *Renewable Energy*, 152, 799–811.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.100>
- Permadi, M. F. W. (2018). *UJI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL JENIS CROSS FLOW DENGAN VARIASI JUMLAH BLADE* Moch Fachruddin Wahyu Permadi Abstrak. 25–31.
- Polikarpova, I. (2019). Multi-Criteria Analysis to Select Renewable Energy Solution for District Heating System. *Environmental and Climate Technologies*, 23(3), 101–109.
<https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0082>
- Ridwan, & Latief, A. (2019). Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Terhadap Distribusi Kecepatan Dan Tekanan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 24(2), 141–151.
<https://doi.org/10.35760/tr.2019.v24i2.2>

392

- Romadhona, G., Winarso, W., & Mukholik, A. (2020). Pemanfaatan Biogas Sebagai Sumber Alternatif Tenaga Listrik Di BBPTU HPT Baturraden. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(1), 21. <https://doi.org/10.30595/techno.v21i1.6885>
- Syamsuarnis, S., & Candra, O. (2020). Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai Energi Listrik Alternatif bagi Masyarakat Nelayan Muaro Ganting Kelurahan Parupuk Kecamatan Koto Tangah. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(2), 44. <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i2.108487>
- Trifiananto, M., Putra, I. S., & Edoward, M. (2022). *ANALISIS PERFORMA TURBIN ANGIN VAWT (VERTICAL AXIS WIND TURBINE) TIPE HYBRID SAVONIUS DARRIEUS NACA 4712* ABSTRACT A wind turbine is a device that converts wind energy into mechanical energy to produce electric power . Wind turbines have a simple working. 15(April), 1–6.
- Vilino, P., Sinaga, H., Suanggana, D., Haryono, H. D., Studi, P., & Mesin, T. (2022). Analisis produksi biogas sebagai energi alternatif pada kompor biogas menggunakan campuran kotoran sapi dan ampas tahu. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan) Polindra*, 8, 61–69. <https://jurnal.polindra.ac.id/index.php/jtt/article/view/348>
- Zhang, P. (2019). Design and performance simulation of a novel hybrid PV/T-air dual source heat pump system based on a three-fluid heat exchanger. *Solar Energy*, 191, 505–517. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.024>
- Zhou, J. (2020). Theoretical and experimental study of a novel solar indirect-expansion heat pump system employing mini channel PV/T and thermal panels. *Renewable Energy*, 151, 674–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.054>